

Е. Д. Зыкова*, Т. С. Огнева

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

*katt333@yandex.ru

Научный руководитель – доц., канд. техн. наук Д. В. Лазуренко

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ VT14 И VT20

В работе методом сварки взрывом были получены слоистые композиты на основе псевдо- α -титана VT20 и ($\alpha + \beta$)-титана VT14. Была исследована структура полученных материалов на межслойных границах и определена степень деформационного упрочнения тонких слоев, прилегающих к границам раздела, путем измерения уровня их микротвердости.

Ключевые слова: сварка взрывом, титан, слоистые композиционные материалы, микротвердость.

Е. D. Zyкова, T. S. Ogneva

STRUCTURE AND PROPERTIES OF LAYERED COMPOSITE MATERIALS BASED ON VT14 AND VT20 TITANIUM ALLOYS

In this study layered composites based on a pseudo- α -titanium VT20 and ($\alpha + \beta$)-titanium VT14 were obtained by the method of explosion welding. The structure of the obtained materials was investigated at the interlayer boundaries and the degree of strain hardening of thin layers adjacent to the interfaces was determined by measuring the level of micro-hardness.

Keywords: explosive welding, titanium, multilayer composites, microhardness.

Одна из главных задач материаловедения на современном этапе промышленного производства заключается в повышении прочностных свойств металлических материалов конструкционного назначения. При этом не менее важным является сохранение, а в некоторых случаях – повышение пластичности, трещиностойкости и усталостных характеристик материалов. Особенно важным благоприятное сочетание вышеупомянутых свойств является для материалов, используемых в авиационной промышленности. Используя традиционные технологические процессы, не всегда удается получить материалы с требуемым уровнем показателей прочности, надежности и долговечности [1].

Один из эффективных способов получения материалов с повышенным комплексом механических свойств заключается в

формировании композиционных структур, среди которых следует уделить особое внимание слоистым металлическим композиционным материалам, формируемым сваркой взрывом тонколистовых заготовок из однородных и разнородных материалов. Увеличение прочности таких композитов обусловлено деформационным упрочнением за счет высокоскоростного нагружения. При этом увеличение показателей ударной вязкости и трещиностойкости обусловлено благоприятным влиянием межслойных границ [2]. Повысить прочность титана можно за счет термической обработки. Закалку титановых сплавов применяют как самостоятельную конечную операцию с целью повышения прочности псевдо- α -сплавов титана или с целью получения метастабильных фаз для последующего их распада при старении [3, 4].

В данной работе были получены и исследованы слоистые композиты на основе титана. Материалами исследования служили сваренные взрывом пятислойные композиты без термической обработки; с закалкой от 940 °С; с закалкой от 940 °С и старением в течение 10 часов при 450 °С. Композиты состояли из чередующихся пластин псевдо- α -титана BT20 толщиной 2,8 мм и ($\alpha+\beta$)-титана BT14 толщиной 0,6 мм. Сварка взрывом проходила по параллельной схеме за один этап, в качестве взрывчатого вещества использовался аммонит 6ЖВ. Для исследования структурных особенностей границ раздела использовали оптический микроскоп Carl Zeiss Axio Observer Z1m. Образцы для микроскопии готовились путем последовательной шлифовки и полировки поперечного сечения образца с помощью абразивной бумаги с зернистостью от 100 до 5 мкм, порошка оксида алюминия с размером зерна 3 мкм и коллоидного раствора оксида кремния (0,05 мкм). Микротвердость тонких слоев, прилегающих к границам раздела, была измерена с помощью полуавтоматического микротвердомера Wolpert Group 402MVD. Нагрузка на алмазный индентор составляла 50 г.

На рис. 1 приведены структуры композитов. Морфология границ раздела различна для каждого из сварных швов. Второй шов имел характерную для процесса сварки взрывом волнообразную форму (рис. 1, б). Средняя длина волны и амплитуда второго сварного шва составляла 160 и 42,8 мкм соответственно. На отдельных участках сварного шва зафиксировано образование вихрей (рис. 2). Формирование вихрей связано с интенсивной пластической деформацией материала в зоне столкновения и нагревом локальных участков до температур, превышающих полиморфное превращение $\alpha \rightarrow \beta$ или плавление титановых сплавов с последующим быстрым охлаждением. Сочетание выше указанных процессов могло привести к образованию мартенсита при охлаждении указанных зон. Вдоль четвертого сварного шва была сформирована прослойка, характеризующаяся низкой травимостью (рис. 1, г). В данной зоне, вероятнее всего, протекали процессы плавления

и кристаллизации. Первый и третий швы имели прямолинейную морфологию (рис. 1, а, в). Такую морфологию сварных швов можно объяснить потерей кинетической энергии при столкновении пластин. Скорость столкновения пластин уменьшается по мере удаления от слоя взрывчатого вещества. В свою очередь, волнообразование напрямую зависит от скорости соударения, чем выше скорость, тем интенсивнее происходит волнообразование.

Обычно если масса каждой из пластин одинакова, то кинетическая энергия будет постепенно уменьшаться с каждым последующим слоем. Так как при формировании четных и нечетных швов масса соударяемых пластин отличалась в связи с различной толщиной заготовок из ВТ14 и ВТ20, величина потери энергии колебалась, следовательно, и морфология сварных швов изменялась.

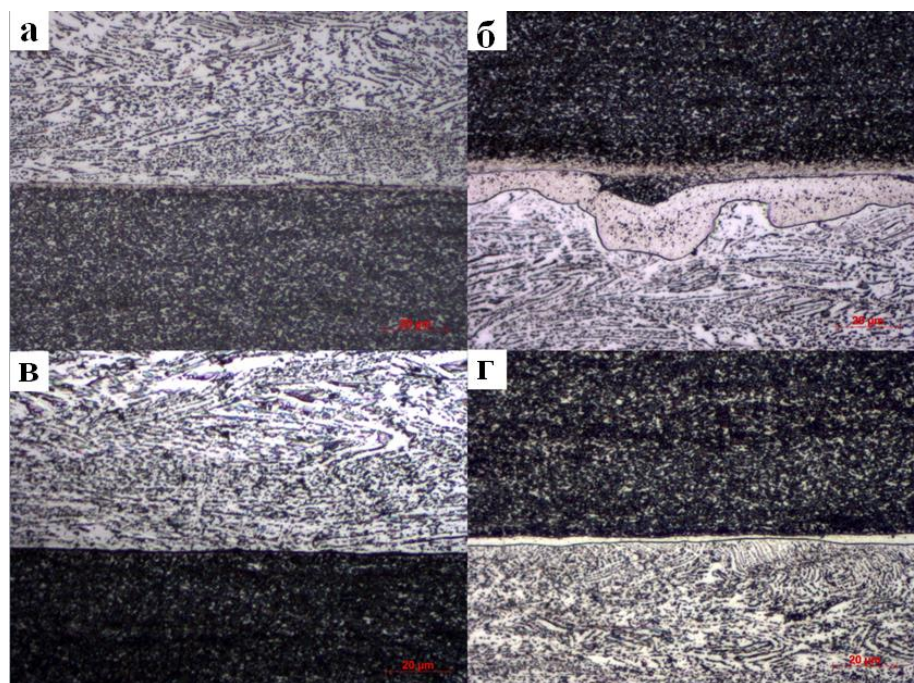


Рис. 1. Межслойные границы композита на основе титана: а – первый сварной шов, б – второй сварной шов, в – третий сварной шов, г – четвертый сварной шов

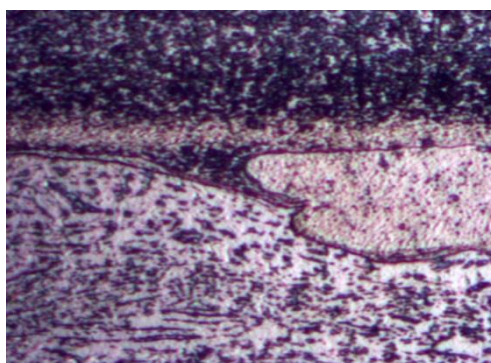


Рис. 2. Вихревая зона, сформированная во втором сварном шве

Упрочняющая термическая обработка для $(\alpha+\beta)$ -сплавов состоит из закалки и старения. Закалка заключается в нагреве до температур, выше превращения $\alpha+\beta \rightarrow \beta$, выдержке и последующем быстром охлаждении. В зависимости от содержания β -стабилизаторов в закаленном сплаве возможно образование мартенситных фаз α' и α'' , а также метастабильной фазы β' . При искусственном старении происходит распад закалочных структур (α' , α'' , β'). В итоге образуются α - и β -фазы, близкие к равновесному состоянию, образование которых вызывает упрочнение сплава. Псевдо- α -сплавы могут закаливаться с образованием титанового мартенсита, представляющего собой твердый раствор легирующих элементов в α -титане. Мартенсит в псевдо- α -сплавах имеет слабую степень пересыщения. Упрочнение сплава при этом незначительно [5]. Структура второго сварного шва после термической обработки приведена на рис. 3. Прошла перекристаллизация зерен титана в твердом состоянии, так как в ходе закалки произошло полиморфное превращение.

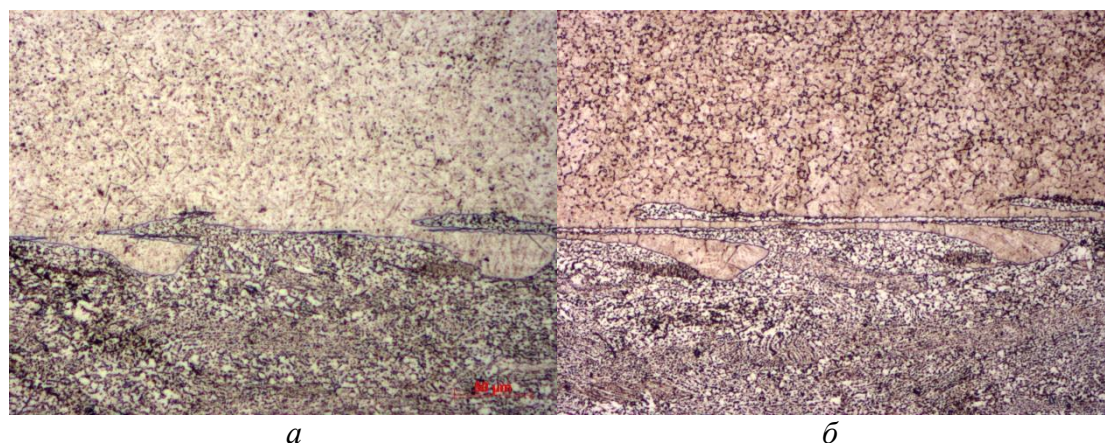


Рис. 3. Второй сварной шов образца с ТО: *а* – закалка от 940 °С; *б* – закалка от 940 °С и старение в течение 10 часов при 450 °С

В ходе дюрометрического анализа была получена микротвердость второго сварного шва трех образцов (рис. 4). Измерения выявили заметное увеличение микротвердости сварного шва образца без ТО, обусловленное упрочнением границ раздела. Микротвердость сварных швов образцов термически обработанных снизилась, что объясняется перекристаллизацией сварных швов и образованием новых полиэдрических зерен. Микротвердость вихрей образца в термически не обработанном состоянии достигала 650 HV, в то время как после термической обработки микротвердость межслойных границ снизилась почти в два раза.

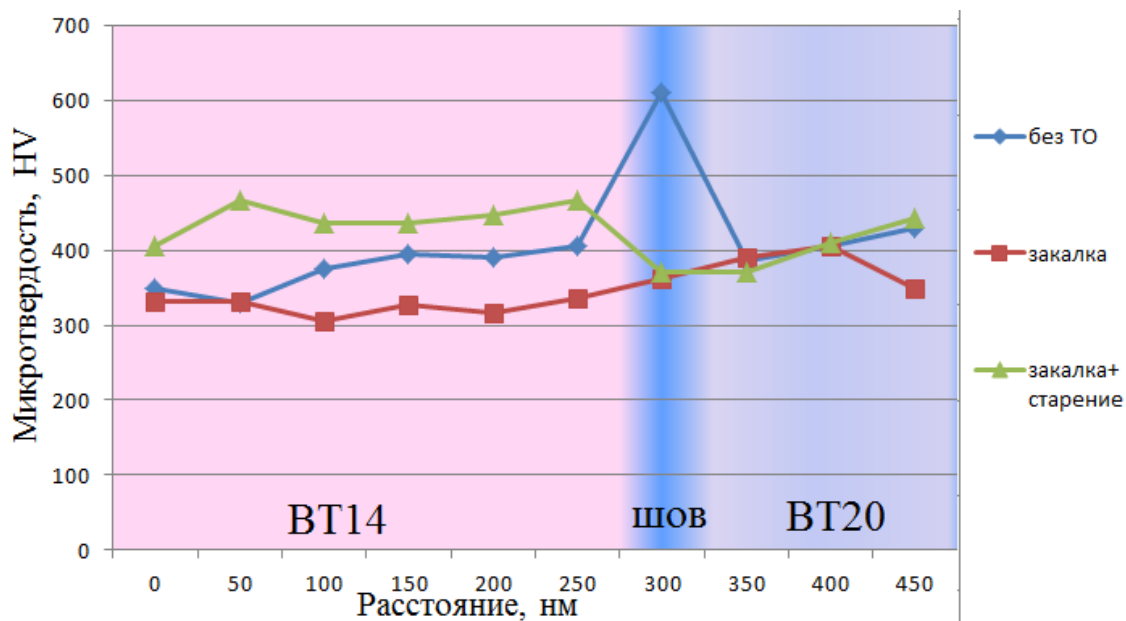


Рис. 4. Микротвердость второго сварного шва

Сварка взрывом является эффективной технологией, которая позволяет соединить как однородные, так и разнородные материалы. В этом исследовании были получены пятислойные композиты на основе титана, которые имеют различную морфологию сварных швов, что объясняется разной массой сопрягаемых пластин. В ходе исследования было установлено, что при сварке взрывом происходит упрочнение межслойных границ, о чем свидетельствуют данные по микротвердости. После закалки и старения титана происходит упрочнение титановых сплавов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лахтин Ю. М., Леонтьева В. П. Материаловедение: учебник для высших технических учебных заведений. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Машиностроение, 1990. С. 528.
2. Лысак В. И., Кузьмин С. В. Сварка взрывом М. : Машиностроение, 2005. С. 495.
3. Цвикер У. Титан и его сплавы. М. : Metallurgia, 1979. С. 520.
4. Вульф Б. К. Термическая обработка титановых сплавов. М. : Metallurgia, 1969. С. 376.
5. Аношкин Н. Ф. Титановые сплавы. Metallographia титановых сплавов М. : Metallurgia, 1980. С. 464.